

УДК 543.06

Асп. Е.В. Евдокимова  
Рук. Ю.Л. Юрьев  
УГЛТУ, Екатеринбург

## **ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ПОР В УГЛЕРОДНЫХ НАНОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Размер пор является одним из важных показателей, по которым определяются возможные области применения той или иной марки угля. Возможность сорбции различных материалов тоже связана с размерами пор. Поэтому определение размера пор является важной задачей для использования углеродных нанопористых материалов.

Размер пор может быть определен косвенным или прямым путем. К косвенным методам определения размера пор относятся:

- метод вдавливания ртути в образец;
- метод полупроницаемых перегородок;
- центробежный метод.

**Метод вдавливания ртути.** Сухой образец помещают в камеру, заполненную ртутью (после вакуумирования). Ртуть вдавливается в поры образца специальным прессом при ступенчатом повышении давления. Препятствует вдавливанию ртути ее капиллярное давление в порах, которое зависит от радиуса пор и смачивающих свойств ртути. Давление последовательно повышают и регистрируют объем вдавливаемой при этом ртути до тех пор, пока образец не перестанет принимать ее. Таким образом определяют объем пор различного размера.

**Метод полупроницаемых (малопроницаемых) перегородок** применим для крупнопористых материалов.

**Центробежный метод** основан на вращении образца, насыщенного жидкостью, в центрифуге. В результате развиваются центробежные силы, способствующие удалению жидкости из пор. При возрастании скорости вращения жидкость удаляется из пор меньшего радиуса. Преимуществом центробежного метода является быстрота исследований. Метод применим для материалов с крупными порами.

К прямым методам определения размера пор относятся сканирующая туннельная микроскопия и сканирующая силовая микроскопия.

**Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ).** В СТМ используется заостренная проводящая игла. Между иглой и образцом прилагается потенциал. Когда игла приближается к образцу на расстояние около 10 ангстрем, электроны начинают туннелировать через промежуток между иглой и образцом. Результирующий туннельный ток изменяется в зависимости от расстояния между иглой и образцом, и именно этот сигнал

используется для формирования контраста изображения. Зависимость туннельного тока от расстояния носит экспоненциальный характер, что делает СТМ очень чувствительным методом.

**Сканирующая силовая микроскопия.** Атомный силовой микроскоп (АСМ) зондирует поверхность образца с помощью острой иглы-зонда длиной в несколько микрон и диаметром часто меньше 100 ангстрем. Игла располагается на свободном конце кантилевера – микроскопической балки, длина которой составляет от 100 до 200 мкм, ширина несколько десятков микрон, а толщина порядка единиц микрон.

Силы, возникающие между иглой и поверхностью образца, вызывают изгиб кантилевера. Детектор измеряет степень отклонения кантилевера по мере прохождения иглы над образцом или по мере перемещения образца под иглой. На основании полученных значений отклонения кантилевера компьютер может составить карту топографии поверхности. Отклонение кантилевера АСМ происходит обычно под влиянием нескольких сил. В некотором приближении кривая межатомного взаимодействия моделирует зависимость силы от расстояния между кончиком зонда и поверхностью образца.

В зависимости от расстояния от зонда до поверхности образца и соответственно от сил, возникающих между зондом и образцом, выделяется несколько режимов работы АСМ. В контактном режиме игла поддерживается на расстоянии нескольких ангстрем от поверхности образца, и сила, действующая между кантилевером и образцом, является силой отталкивания. В бесконтактном режиме кантилевер поддерживается на расстоянии около десятков или сотен ангстрем от поверхности образца, и сила, действующая между кантилевером и образцом, является силой притяжения (в основном, в результате дальних ван-дер-ваальсовых взаимодействий). Очень распространенной на сегодняшний день является полуконтактная микроскопия (прерывистый контакт). В этом режиме возникают как силы притяжения, так и силы отталкивания между образцом и зондом, который колеблется вблизи поверхности.

Учитывая, что углеродные материалы содержат все виды пор, начиная с субмикропор, для их изучения можно рекомендовать такие методы, как туннельная микроскопия и сканирующая силовая микроскопия.